

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-50073

(43) 公開日 平成8年(1996)2月20日

(51) IntCl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 L 25/00		Z		
G 0 1 B 21/32				
G 0 1 N 3/30		Z		

審査請求 未請求 請求項の数 8 F D (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平6-205971

(22) 出願日 平成6年(1994)8月8日

(71) 出願人 000222646

株式会社トーヨーテクノコーポレーション  
広島県福山市神村町1080番地の1

(72) 発明者 礪本 良則

広島県呉市阿賀南5-8-26

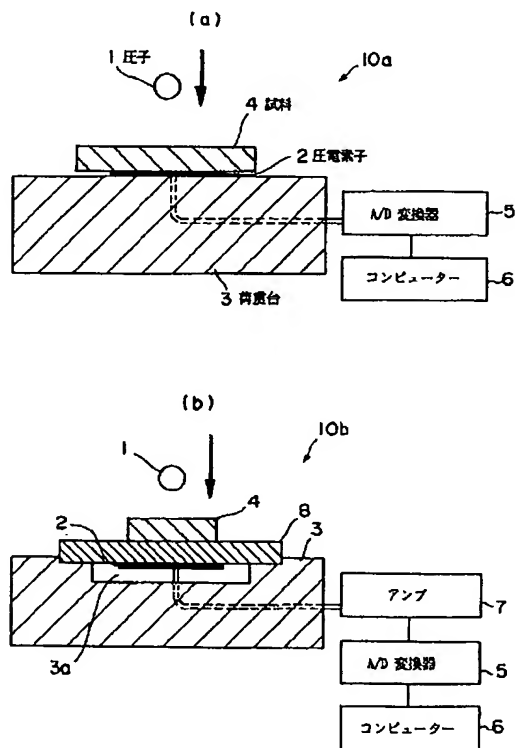
(74) 代理人 弁理士 齋藤 和則

(54) 【発明の名称】 応力-歪挙動測定方法および装置

(57) 【要約】

【目的】 速い歪速度、すなわち、速い衝突速度における試料の正確な応力-歪曲線を得ることができる応力-歪挙動測定方法および装置を提供することを目的とする。

【構成】 試料(4)に、半径(R)の球状で、質量(m)の圧子(1)を任意の衝突速度(V)で衝突させることにより生じた荷重(F)と、前記試料(4)および前記圧子(1)との接触した時間である接触時間(t)との関係曲線を求め、前記圧子(1)の初期速度( $V_0$ )、および、前記圧子(1)が前記試料(4)に衝突後に停止した時の境界条件から、所定式を解くことによって、応力(P)を縦軸(横軸)に、前記圧子(1)の直径(D)に対する前記試料(4)におけるへこみ半径(d)の比であるへこみ率( $d/D$ )を横軸(縦軸)にプロットすることにより、応力-歪曲線を得ることを特徴とする応力-歪挙動測定方法および装置。



1

2

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 試料(4)に、半径(R)の球状で、質量(m)の圧子(1)を任意の衝突速度(V)で衝突させることにより生じた荷重(F)と、前記試料(4)および前記圧子(1)との接触した時間である接触時間(t)との関係曲線を求め、  
前記圧子(1)の初期速度(V<sub>0</sub>)、および、前記圧子(1)が前記試料(4)に衝突後に停止した時の境界条件から、以下に示されるように式を解くことによって、\*

(1)は、

$$V = V_0 - (1/m) \int_0^t F dt \quad \cdots (2) \text{ となる。}$$

任意の接触時間(t)におけるA/D変換値(C)のみが得られ、荷重(F)が得られない場合には、境界条件※

$$\int_0^{t_1} F dt = \alpha \int_0^{t_1} C dt = mV_0 \quad \cdots (2a) \quad \text{が得られ、}\alpha\text{を決定でき。}$$

きる。

さらに、式(2)を積分することにより、前記試料★(4)のへこみ深さ(x)は、

$$x = V_0 t - (1/m) \int_0^t \int_0^t F dt^2 \quad \cdots (3) \quad \text{となる。}$$

ここで、前記圧子(1)の接触面積(A)を用いて接触☆圧力、つまり、応力(P)は、

$$P = F/A = F / (2\pi R x) \\ = F / \{ 2\pi R [V_0 t - (1/m) \int_0^t \int_0^t F dt^2] \} \quad \cdots (4)$$

となる。前記試料(4)の歪(ε)に相当する前記圧子(1)の直径(D)に対するへこみ直径(d)の比であるへこみ率(d/D)は、へこみ深さ(x)を用いて、  
 $d/D = \sqrt{1 - (1 - x/R)^2}$  … (5) とする。

ここで、荷重(F)と、荷重(F)のA/D変換値(C)とは、 $F = \alpha C$ の関係にあり、また、αは、変換係数である。また、Vは、圧子(1)の速度(m/s)、Rは、圧子(1)の半径(m)、Fは、荷重(N)、mは、圧子(1)の質量(Kg)、tは、圧子◆

$$P = F/A = F / \{ \pi x (2R - x) \} \quad \cdots (4a)$$

【請求項3】 以下の式(6)を加えて解く請求項1または2記載の応力-歪挙動測定方法。ここで、前記接触時間(t)が、長く測定された場合、(t' = βt、ただし、β>1)となり、\*

$$x_1 = V_0 t_1' / \beta - (1/m) \int_0^{t_1' / \beta} \int_0^{t_1' / \beta} F dt^2 \quad \cdots (6)$$

となり、βおよびt<sub>1</sub>'を求めることができる。ここで、x<sub>1</sub>は、試料(4)の最終へこみ深さ(m)である。

【請求項4】 以下の式(7)を加えて解き、前記応力(P)を縦軸(横軸)に、前記試料(4)の歪(ε)を横軸(縦軸)にプロットすることにより、応力-歪曲線

\*応力(P)を縦軸(横軸)に、前記圧子(1)の直径(D)に対する前記試料(4)におけるへこみ半径(d)の比であるへこみ率(d/D)を横軸(縦軸)にプロットすることにより、応力-歪曲線を得ることを特徴とする応力-歪挙動測定方法。運動方程式は、  
 $dV/dt = -F/m = -\alpha C/m \quad \cdots (1) \quad \text{である。}$

前記式(1)を積分し、初期条件(t=0のときV=V<sub>0</sub>)により、前記式

※(t=t<sub>1</sub>のときV=0)より、式(2)から、

◆(1)と試料(4)との接触時間(s)、V<sub>0</sub>は、圧子(1)の初期速度(m/s)、xは、試料(4)のへこみ深さ(m)、dは、試料(4)のへこみ直径(m)、Dは、圧子(1)の直径(m)、Pは、接触圧力、つまり、応力(Pa)とする。

【請求項2】 請求項1記載の応力-歪挙動測定方法において、式(4)の代わりに、以下の式(4a)を用い、前記式(3)で求められる(x)を代入して解くことを特徴とする応力-歪挙動測定方法。

\*前記試料(4)の最終へこみ深さ(x<sub>1</sub>)を用いて、境界条件(t=t<sub>1</sub>=t'/βのとき x=x<sub>1</sub>)および前記式(3)から、

$$x_1 = V_0 t_1' / \beta - (1/m) \int_0^{t_1' / \beta} \int_0^{t_1' / \beta} F dt^2 \quad \cdots (6)$$

を得る請求項1から3のいずれかに記載の応力-歪挙動測定方法。ここで、前記歪(ε)と、前記へこみ率(d/D)との関係は、  
 $\varepsilon = 0.2 d/D \quad \cdots (7) \quad \text{とする。}$

【請求項5】 球状の圧子(1)と、

前記圧子(1)を付勢し、発射する圧子発射装置と、  
前記発射された圧子(1)が衝突される試料(4)と、  
試料(4)の下に密着され、前記発射された圧子(1)  
への前記試料(4)の衝突により電圧を出力する荷重検  
出手段(2)と、  
前記荷重検出手段(2)を載置する荷重台(3)と、  
前記荷重検出手段(2)に電気的に接続されるA/D変  
換器(5)と、  
前記A/D変換器(5)に電気的に接続され、前記荷重  
検出手段(2)から出力され、前記A/D変換器(5) 10  
を介して入力される電圧に基づき計算するコンピュ  
ータ(6)と、  
前記圧子(1)の前記試料(4)への衝突速度を測定す  
る圧子速度測定装置と、  
から成ることを特徴とする応力-歪挙動測定装置。

【請求項6】 球状の圧子(1)と、  
前記圧子(1)を付勢し、発射する圧子発射装置と、  
前記発射された圧子(1)が衝突される試料(4)と、  
試料(4)の下に密着されるプレート(8)と、  
前記プレート(8)の下に密着され、前記発射された圧  
子(1)への前記試料(4)の衝突により電圧を出力す 20  
る荷重検出手段(2)と、  
前記プレート(8)を載置し、前記荷重検出手段(2)  
を凹部(3a)内の空間に保持する荷重台(3)と、  
前記荷重検出手段(2)に電気的に接続されるA/D変  
換器(5)と、  
前記A/D変換器(5)に電気的に接続され、前記荷重  
検出手段(2)から出力され、前記A/D変換器(5)  
を介して入力される電圧に基づき計算するコンピュ  
ータ(6)と、  
前記圧子(1)の前記試料(4)への衝突速度を測定す  
る圧子速度測定装置と、  
から成ることを特徴とする応力-歪挙動測定装置。

【請求項7】 前記荷重検出手段(2)はアンプ(7)を  
介して前記A/D変換器(5)に電気的に接続される請  
求項5または6記載の応力-歪挙動測定装置。

【請求項8】 前記荷重検出手段(2)は、圧電素子、  
あるいは、歪ゲージから構成される請求項5から7のい  
ずれかに記載の応力-歪挙動測定装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、速い歪速度、すなわ  
ち、速い衝突速度における試料の正確な応力-歪曲線  
を求めるための応力-歪挙動測定方法および装置に関する  
ものである。

【0002】

【従来の技術】 従来、応力-歪曲線を求める方法として  
JIS B 7721等に定められた試験機による低い

歪速度における引張試験(JIS Z 2241)ある  
いは圧縮試験法(JIS K 7208)がある。ま  
た、比較的高い歪速度における試料の応力-歪曲線  
を求める方法として打撃棒を用いた衝撃引張試験ある  
いは衝撃圧縮試験法がある。いずれも、応力-歪曲線  
を得るには、まず、歪ゲージ等で測定された力を基  
準試料面積で割った応力の経時変化を求め、クロス  
ヘッドあるいは打撃棒の移動速度が一定であるとい  
う前提条件に従って経過時間を歪みに換算する方  
法が取られている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 しかし、上述の従  
来の方法では歪みゲージ等の荷重検出器を用いて荷  
重-接触時間を求めることはできるが、試料標点距離  
間の変位-接触時間曲線を直接求めることは困難で  
ある。従って、簡単に応力-歪曲線を得ることはで  
きない。そこで、一般に時間に対応した変位を得る  
ために、一定の速度で試料を歪ませる。衝撃試験  
から応力-歪曲線を得るには、打撃棒を大きくする  
ことにより衝突中の速度をできるだけ一定に保つ必  
要がある。しかし、打撃棒を大きくすることにより  
その衝突速度が制約され、高い衝突速度を得るこ  
とが非常に困難になる。また、衝突試験においては  
、打撃棒が衝突し、停止するまでの間に必ず速度  
変化を生ずる。従って、一定速度で衝突するという  
前提で得られた応力-歪曲線は歪みの高い領域にお  
いてより大きな誤差を生じるという問題がある。そ  
こで、本発明は、速い歪速度、すなわち、速い衝  
突速度における試料の正確な応力-歪曲線を得るこ  
とができる応力-歪挙動測定方法および装置を提供  
することを目的とする。

30 【0004】

【課題を解決するための手段】 本発明は、試料(4)  
に、半径(R)の球状で、質量(m)の圧子(1)を任  
意の衝突速度(V)で衝突させることにより生じた荷  
重(F)と、前記試料(4)および前記圧子(1)との接  
触した時間である接触時間(t)との関係曲線を求  
め、前記圧子(1)の初期速度( $V_0$ )、および、前記  
圧子(1)が前記試料(4)に衝突後に停止した時の境  
界条件から、以下に示されるように式を解くこと  
によって、応力(P)を縦軸(横軸)に、前記圧子(1)  
の直径(D)に対する前記試料(4)におけるへこみ半  
径(d)の比であるへこみ率( $d/D$ )を横軸(縦軸)に  
プロットすることにより、応力-歪曲線を得るこ  
とを特徴とする応力-歪挙動測定方法である。運  
動方程式は、  
$$dV/dt = -F/m = -\alpha C/m \quad \cdots (1)$$
 であ  
る。

前記式(1)を積分し、初期条件( $t=0$ のとき $V=V_0$ )  
により、前記式

5

6

(1) は、

$$V = V_0 - (1/m) \int_0^t F dt \quad \dots (2) \text{ となる。}$$

任意の接触時間 (t) における A/D 変換値 (C) のみ \* (t = t<sub>1</sub> のとき V = 0) より、式 (2) から、  
 が得られ、荷重 (F) が得られない場合には、境界条件 \*

$$\int_0^{t_1} F dt = \alpha \int_0^{t_1} C dt = mV_0 \quad \dots (2a) \quad \text{が得られ、}\alpha\text{を決定で}$$

きる。

さらに、式 (2) を積分することにより、前記試料 ※10※ (4) のへこみ深さ (x) は、

$$x = V_0 t - (1/m) \int_0^t \int_0^t F dt^2 \quad \dots (3) \quad \text{となる。}$$

ここで、前記圧子 (1) の接触面積 (A) を用いて接触★ ★圧力、つまり、応力 (P) は、

$$P = F/A = F / (2\pi R x) \\ = F / \{ 2\pi R [V_0 t - (1/m) \int_0^t \int_0^t F dt^2] \} \quad \dots (4)$$

となる。前記試料 (4) の歪 (ε) に相当する前記圧子 (1) の直径 (D) に対するへこみ直径 (d) の比であるへこみ率 (d/D) は、へこみ深さ (x) を用いて、  
 $d/D = \sqrt{1 - (1 - x/R)^2}$  20  $\dots (5)$   
 ここで、荷重 (F) と、荷重 (F) の A/D 変換値 (C) とは、 $F = \alpha C$  の関係にあり、また、α は、変換係数である。また、V は、圧子 (1) の速度 (m/s)、R は、圧子 (1) の半径 (m)、F は、荷重 (N)、m は、圧子 (1) の質量 (Kg)、t は、圧子 (1) と試料 (4) との接触時間 (s)、V<sub>0</sub> は、圧子 (1) の初期速度 (m/s)、x は、試料 (4) のへこみ深さ (m)、d は、試料 (4) のへこみ直径 (m)、  
 D は、圧子 (1) の直径 (m)、P は、接触圧力、つまり、応力 (Pa) とする。

【0005】さらに、本発明は、球状の圧子 (1) と、前記圧子 (1) を付勢し、発射する圧子発射装置と、前記発射された圧子 (1) が衝突される試料 (4) と、試料 (4) の下に密着され、前記発射された圧子 (1) への前記試料 (4) の衝突により電圧を出力する荷重検出手段 (2) と、前記荷重検出手段 (2) を載置する荷重台 (3) と、前記荷重検出手段 (2) に電気的に接続される A/D 変換器 (5) と、前記 A/D 変換器 (5) に電気的に接続され、前記荷重検出手段 (2) から出力され、前記 A/D 変換器 (5) を介して入力される電圧に基づき計算するコンピューター (6) と、前記圧子 (1) の前記試料 (4) への衝突速度を測定する圧子速度測定装置と、から成ることを特徴とする応力-歪挙動測定装置である。

【0006】さらに、本発明は、球状の圧子 (1) と、前記圧子 (1) を付勢し、発射する圧子発射装置と、前記発射された圧子 (1) が衝突される試料 (4) と、試料 (4) の下に密着されるプレート (8) と、前記プレ

ート (8) の下に密着され、前記発射された圧子 (1) への前記試料 (4) の衝突により電圧を出力する荷重検出手段 (2) と、前記プレート (8) を載置し、前記荷重検出手段 (2) を凹部 (3a) 内の空間に保持する荷重台 (3) と、前記荷重検出手段 (2) に電気的に接続される A/D 変換器 (5) と、前記 A/D 変換器 (5) に電気的に接続され、前記荷重検出手段 (2) から出力され、前記 A/D 変換器 (5) を介して入力される電圧に基づき計算するコンピューター (6) と、前記圧子 (1) の前記試料 (4) への衝突速度を測定する圧子速度測定装置と、から成ることを特徴とする応力-歪挙動測定装置である。

【0007】

【作用】本発明によれば、まず、打撃手段を小さくし、球状の圧子 1 を用いた。これによって衝突速度を高めることができ、超音速領域にまで展開することができる。しかし、打撃手段である圧子 1 を小さくすることにより、衝突開始から停止するまでの速度変化は衝突直後から大きくなる。そこで、球状の圧子 1 を試料 4 に衝突させ、試料 4 をへこませる。この時、試料 4 の裏側に貼られた荷重検出手段である圧電素子 2、あるいは、歪ゲージ 2 に検出された荷重-接触時間曲線を求め、次に、圧子 1 が試料 4 に衝突する時の初期条件、および、圧子 1 が試料 4 に衝突後に停止したときの境界条件から、所定方程式を解くことにより、圧子 1 の接触時の正確な応力-歪曲線を得ることができる。

【0008】

【実施例】以下、本発明を図面を参照してその実施例に基づいて説明する。図 1 (a) には、応力-歪挙動測定装置 10a が示される。球状の圧子 1 は、図示されない圧子発射装置であるガス銃により付勢され、発射される。圧子 1 は、例えば、直径 3.18 mm の鋼球、また

7

は、直径3mmのタングステンカーバイド球を用いた。圧子発射装置は、圧子1を付勢し、発射する装置であれば、ガス銃に限定されない。試料4は、アルミニウム等の金属、合成樹脂から成り、発射された圧子1が衝突される。試料4に対する圧子1の硬さ比が大きければ、測定結果は圧子1の材質の影響を受けない。荷重検出手段は、圧電素子2、または、歪ゲージ2から成り、試料4の下に密着され、発射された圧子1への試料4の衝突により電圧を出力する。荷重台3は、荷重検出手段である圧電素子2、または、歪ゲージ2を載置する。A/D変換器5は、圧電素子2、または、歪ゲージ2に電氣的に接続される。コンピューター6は、A/D変換器5に電氣的に接続され、圧電素子2、または、歪ゲージ2から出力され、A/D変換器5を介して入力される電圧に基づき計算する装置である。この結果は、ディスプレイ装置で表示されたり、あるいは、プリンターで印刷される。図示されない圧子速度測定装置は、圧子1の試料4への衝突速度を測定する装置で、2個のフォトダイオード等から成る。

【0009】図1(b)には、応力-歪挙動測定装置10bが示される。図1(a)の応力-歪挙動測定装置10aと大部分の構成は共通するが、試料4の下にプレ\*

(1)は、

$$V = V_0 - (1/m) \int_0^t F dt \quad \dots (2) \text{ となる。}$$

任意の接触時間(t)におけるA/D変換値(C)のみが得られ、荷重(F)が得られない場合には、境界条件※

$$\int_0^t F dt = \alpha \int_0^t C dt = mV_0 \quad \dots (2a) \text{ が得られ、}\alpha\text{を決定で}$$

きる。

さらに、式(2)を積分することにより、前記試料★ ★(4)のへこみ深さ(x)は、

$$x = V_0 t - (1/m) \int_0^t \int_0^t F dt^2 \quad \dots (3) \text{ となる。}$$

ここで、前記圧子(1)の接触面積(A)を用いて接触☆ ☆圧力、つまり、応力(P)は、

$$P = F/A = F / (2\pi R x)$$

$$= F / \{ 2\pi R [ V_0 t - (1/m) \int_0^t \int_0^t F dt^2 ] \} \quad \dots (4)$$

となる。試料4の歪(ε)に相当する圧子1の直径(D)に対するへこみ直径(d)の比であるへこみ率(d/D)は、へこみ深さ(x)を用いて、  
 $d/D = \sqrt{1 - (1 - x/R)^2}$  ... (5) となる。

【0012】ここで、荷重(F)と、荷重(F)のA/D変換値(C)とは、 $F = \alpha C$ の関係にあり、また、αは、変換係数である。また、Vは、圧子(1)の速度(m/s)、Rは、圧子(1)の半径(m)、Fは、荷重(N)、mは、圧子(1)の質量(Kg)、tは、圧

8

\*ート8が密着され、プレート8の下に圧電素子2、または、歪ゲージ2が密着され、プレート8は、荷重台3上に載置され、圧電素子2、または、歪ゲージ2は、荷重台3に設けられた凹部3a内の空間に位置する。プレート8の材料はナイロンに限定されない。

【0010】本発明方法は、試料4に、半径(R)の球状で、質量(m)の圧子1を任意の衝突速度(V)で衝突させることにより生じた荷重(F)と、試料4および圧子1との接触した時間である接触時間(t)との関係曲線を求め、圧子1の初期速度(V<sub>0</sub>)、および、圧子1が試料4に衝突後に停止した時の境界条件から、以下に示されるように式を解くことによって、応力(P)を縦軸(横軸)に、圧子1の直径(D)に対する試料4におけるへこみ半径(d)の比であるへこみ率(d/D)を横軸(縦軸)にプロットすることにより、応力-歪曲線を得ることを特徴とする応力-歪挙動測定方法である。

【0011】運動方程式は、

$$dV/dt = -F/m = -\alpha C/m \quad \dots (1) \text{ である。}$$

前記式(1)を積分し、初期条件(t=0のときV=V<sub>0</sub>)により、前記式

※(t=t<sub>1</sub>のときV=0)より、式(2)から、

子(1)と試料(4)との接触時間(s)、V<sub>0</sub>は、圧子(1)の初期速度(m/s)、xは、試料(4)のへこみ深さ(m)、dは、試料(4)のへこみ直径(m)、Dは、圧子(1)の直径(m)、Pは、接触圧力、つまり、応力(Pa)とする。

【0013】上述の応力-歪曲線を求める手順が図2(a)(b)(c)(d)に示される。最初に、ガス銃から圧子1が発射され、試料4に衝突され、この衝突による押圧力、および、圧子1と試料4との接触時間に対応した電圧が圧電素子2から出力される。図1(a)

の応力-歪挙動測定装置10aを用いた場合、圧電素子2から出力された電圧をそのまま、A/D変換器5を通して得られたA/D変換値と、圧子1と試料4との接触時間の関係が図2(a)に示される。図1(b)の応力-歪挙動測定装置10bを用いた場合には、圧電素子2から出力された電圧が、アンプ7で増幅された後に、A/D変換器5を通して得られたA/D変換値と接触時間の関係が、図2(a)に示される。

【0014】次に、図2(a)を図積分することにより、図2(b)に示されるように、圧子1の速度-接触時間が得られ、ここで圧子1の初速 $V_0$ は、フォトダイオード等から成る図示されない圧子速度測定装置で測定された速度とする。さらに図2(b)を図積分することにより、図2(c)に示されるように、圧子1の侵入深さ、つまり、試料4のへこみ深さ-接触時間曲線が得られる。圧子1の試料4への侵入による試料4の最終へこみ

$$P = F/A = F / \{ \pi x (2R - x) \} \quad \dots (4a)$$

接触面積の代わりに、へこみ直径を $d$ とした場合のへこみの投影面積 $\{ \pi x (2R - x) \}$ で割った値も、また、接触圧力と見做すこともでき、評価が異なる。この場合、式(4)の分母が異なるのみで、手順は全く同じである。

【0017】さらに、本発明方法は、以下の式(6)を※

$$x_1 = V_0 \cdot t_1' / \beta - (1/m) \int_0^{t_1'} F dt^2 \quad \dots (6)$$

となり、 $\beta$ および $t_1$ を求めることができる。ここで、 $x_1$ は、試料(4)の最終へこみ深さ(m)である。図1(b)に示される荷重検出装置では、例えば、プレート8がたわむことによって接触時間は長くなる。しかし、図2(a)(b)(c)(d)の手順にも示すように、境界条件によって荷重-接触時間は修正される。

【0018】さらに、本発明は、以下の式(7)を加えて解き、前記応力(P)を縦軸(横軸)に、前記試料(4)の歪( $\epsilon$ )を横軸(縦軸)にプロットすることにより、応力-歪曲線を得ることを特徴とする応力-歪挙動測定方法である。ここで、前記歪( $\epsilon$ )と、前記へこみ率( $d/D$ )との関係は、

$$\epsilon = 0.2 d / D \quad \dots (7) \quad \text{とする。}$$

この式(7)は、Tabor (The Hardness of Metals. 1951)の経験式に基づくものである。

【0019】図3(a)(b)は、圧子1は、直径3.18mmの鋼球、試料4は、アルミニウムから成り、圧電素子2を用いた図1(a)の応力-歪挙動測定装置10aで得られたA/D変換値-接触時間曲線、および、応力-接触時間曲線を示す。図4(a)(b)は、圧子1は、直径3.18mmの鋼球、試料4は、アルミニウムから成り、圧電素子2を用いた図1(b)の応力-歪挙動測定装置10bで得られたA/D変換値-接触時間曲線、および、応力-接触時間曲線を示す。図3(a)

\*み深さ( $x_1$ )を顕微鏡で実測することにより、圧子1の侵入深さ、つまり、試料4のへこみ深さ( $x$ )が求められ、以下の方程式(1)(2)(3)(4)をコンピュータ6により計算することにより、図2(a)(b)(c)(d)に示される曲線が求められる。

【0015】仮に、A/D変換値に対応する荷重値が分からなくても、初期条件および境界条件により、上述の式(2a)等により、関係曲線の全てが確定する。任意の接触時間における荷重を上述の方程式(4)で示されるように接触面積 $2\pi R x$ で割った接触圧力(応力)曲線は図2(d)に示されるようになる。

【0016】さらに、本発明方法は、上述の応力-歪挙動測定方法において、式(4)の代わりに、式(4)の代わりに、以下の式(4a)を用い、前記式(3)で求められる( $x$ )を代入して解くことを特徴とする応力-歪挙動測定方法である。

※加えて解く応力-歪挙動測定方法である。ここで、前記接触時間( $t$ )が、長く測定された場合、( $t' = \beta t$ 、ただし、 $\beta > 1$ )となり、前記試料(4)の最終へこみ深さ( $x_1$ )を用いて、境界条件( $t = t_1 = t' / \beta$ のとき  $x = x_1$ )および前記式(3)から、

$$\therefore \beta \cdot \int_0^{t_1'} F dt^2 \quad \dots (6)$$

(b)の初期時間にバラツキが見られるが、これはA/D変換器の取込速度( $\mu s$ )が不充分であるためである。図3(a)(b)、図4(a)(b)において、両者の違いは弾性変形領域の大きさにあり、検出装置の特性と見られる。図1(b)の応力-歪挙動測定装置10bではプレート8がたわむことにより、図4(a)に示されるように接触時間は約40 $\mu s$ となる。図2(a)(b)(c)(d)の手順に従えば、図4(b)に示されるように、実質接触時間は図3(a)と一致する。これらの図から、いずれも弾性変形領域、降伏点、塑性変形領域が存在すること、極限強さは、ほぼ一致することが分かる。

【0020】図5は、圧子1は、直径3.18mmの鋼球、試料4は、アルミニウムから成り、圧電素子2を用いた図1(b)の応力-歪挙動測定装置10bで得られた各衝突速度における応力-接触時間曲線を示す。圧子1の衝突によってへこみを形成する場合の歪み速度 $\epsilon$ は標点がないために、JIS規格の定義に合わない。そこで、次の近似式(a)を用いる。

$$\epsilon = 0.18 V^{1/2} / [R (3P / 2\rho)^{1/4}] \quad \dots (a)$$

ただし、 $v$ は衝突速度、 $R$ は圧子1の半径、 $P$ は試料4の硬さ、 $\rho$ は試料4の密度である。例えば13m/sの衝突速度でアルミニウムから成る試料4に、3.18mmの鋼球から成る圧子1が衝突する時の歪速度は、7.9×

10<sup>3</sup> 1/s となり、125 m/sでは2.4×10<sup>4</sup> 1/sとなる。従って、図5は歪速度が上昇するにつれていわゆる弾性定数は小さくなり、その後の降伏応力は大きくなる傾向があることを示す。また、歪速度が大きい程、最終応力は小さくなった。

【0021】図6は、圧子1は、直径3.18mmの鋼球、歪ゲージ2を用いた図1(b)の応力-歪挙動測定装置10bで得られた応力-歪曲線を示す。試料4は、アルミニウム、あるいは、純鉄、あるいは、鋳鉄から成る。どの試料4についても曲線は右上りとなっており、その傾向は試料4の間で大差はない。しかし、応力値は試料4によって異なることが分かる。図7(a)(b)は、圧子1は、直径3.18mmのタングステンカーバイド球、圧電素子2を用いた図1(b)の応力-歪挙動測定装置10bで得られた応力-歪曲線を示す。

試料4は、焼入炭素工具鋼、焼戻炭素工具鋼、純鉄、あるいは、鋳鉄から成る。この図から試料4の材質によって特徴的な応力-歪曲線が得られることが分かる。

荷重の検出手段に圧電素子2、あるいは、歪みゲージ2を用いるかによって応力-歪曲線が異なるが、これは荷重の検出手段の特性による。

【0022】図7(a)(b)の場合において、図8(a)に示されるように、焼入炭素工具鋼から成る試料4に圧子1が、150m/sの速度で衝突した場合が示され、へこみの外輪部から放射状の割れが発生し、さらに、へこみ表面にリング状の割れが発生し、圧子1の衝突後に脱離した。また、図8(b)に示されるように、鋳鉄から成る試料4に圧子1が、110m/sの速度で衝突した場合が示され、へこみ表面から下方に微細な亀裂が発生した。これにより、圧電素子2を用いた応力-歪曲線に見られた降伏点以後の応力の低下は割れや亀裂の発生を反映している可能性がある。図9は、JIS規格に従って行われた従来方法である低歪速度における圧縮試験による応力-歪曲線を示し、図10は、直径3.18mmの鋼球から成る圧子1を用いた本発明の一実施例方法による応力-歪曲線を示す。試料4は、共にアルミニウムから成る。上述の式(7)を適用し、従来方法の圧縮試験による応力-歪曲線が公称応力-公称歪曲線であることを考慮すれば、へこみの初期を除き両者の傾向は、穂飛んど一致する。応力値は押込み試験の方が高い。これは従来方法の圧縮試験が単軸圧縮であるのに対し、図10の本発明の一実施例が3次元圧縮であることによる。また、接触面積を用いた接触応力が、真応力であるのに対し、投影面積を用いた接触応力が、公称応力との見方も出来る。

【0023】また、図5と、図10を比較するとアルミニウムから成る試料4の場合、高い歪速度の方が応力値が大きく、応力-歪曲線の挙動に対しても歪速度の影響がよく現れていることが分かる。一般に歪速度の違いによって試料の機械的性質は異なる。ところが、打撃棒を用いた衝撃試験では50m/s以下の衝突速度、つまり、歪速度で言えば、10<sup>4</sup>(1/s)程度であり、それ以上、歪速度を得るには装置が大掛かりになる等困難の度を増す。本発明によって10<sup>5</sup>(1/s)以上、すなわち、超音速領域の応力-歪曲線を得ることも可能である。また、試料の作成も簡単であり、従来通りの歪み速度において試験を簡単に行うことができる。

【0024】

【発明の効果】本発明は、以上説明したように、速い歪速度、すなわち、速い衝突速度における試料の正確な応力-歪曲線を得ることができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例の応力-歪挙動測定装置の部分断面図である。

【図2】本発明の実施例の応力-歪挙動測定方法による圧子と試料の接触時間とA/D変換値、圧子速度、へこみ深さ、応力との関係曲線図である。

【図3】本発明の実施例の応力-歪挙動測定方法による圧子と試料の接触時間とA/D変換値、応力との関係曲線図である。

【図4】本発明の実施例の応力-歪挙動測定方法による圧子と試料の接触時間とA/D変換値、応力との関係曲線図である。

【図5】本発明の実施例の応力-歪挙動測定方法による応力と歪との関係曲線図である。

【図6】本発明の実施例の応力-歪挙動測定方法による応力と歪との関係曲線図である。

【図7】本発明の実施例の応力-歪挙動測定方法による応力と歪との関係曲線図である。

【図8】本発明の実施例の応力-歪挙動測定方法による試料のへこみ状態説明図である。

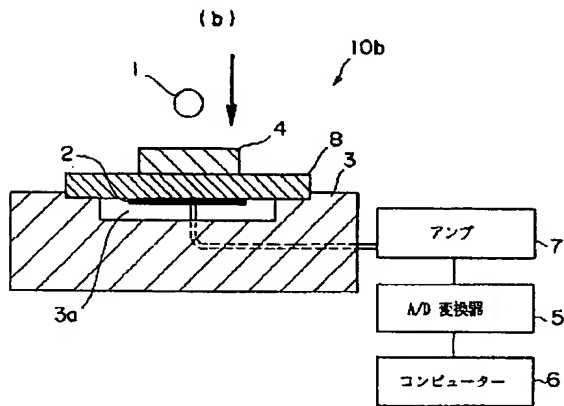
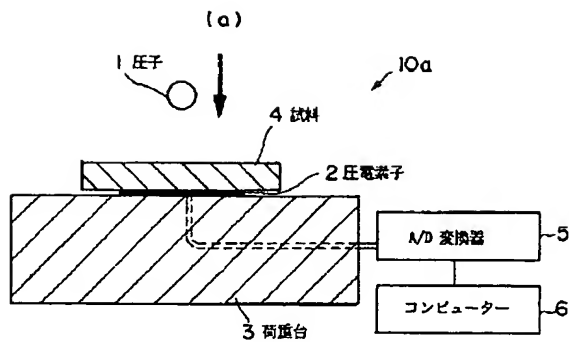
【図9】従来方法による応力と歪との関係曲線図である。

【図10】本発明の実施例の応力-歪挙動測定方法による応力と歪との関係曲線図である。

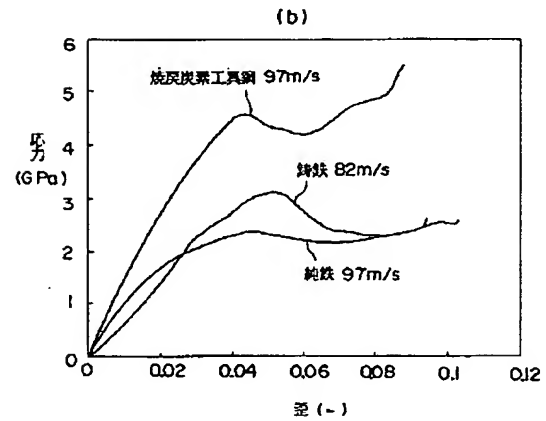
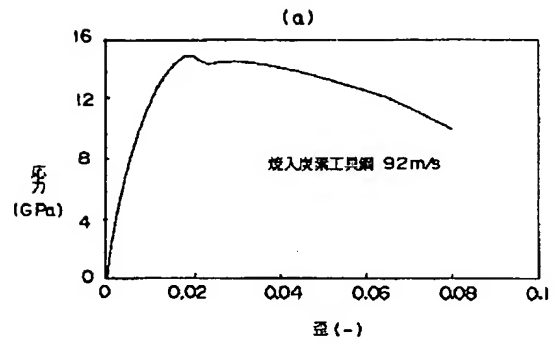
【符号の説明】

- |          |           |       |   |
|----------|-----------|-------|---|
| 1 圧子     | 2 圧電素子    | 3 荷重台 | 4 |
| 試料       |           |       |   |
| 5 A/D変換器 | 6 コンピューター |       |   |
| 7 アンブ    | 8 プレート    |       |   |

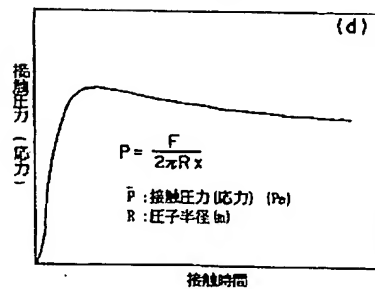
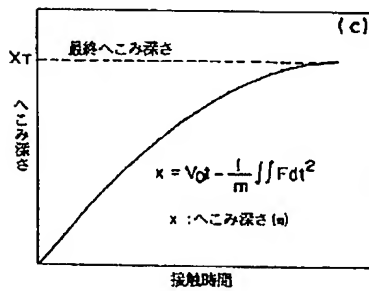
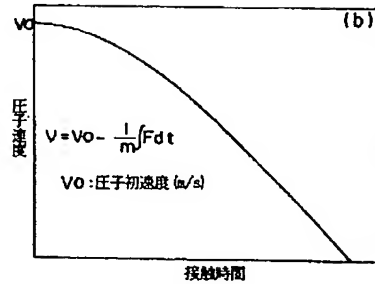
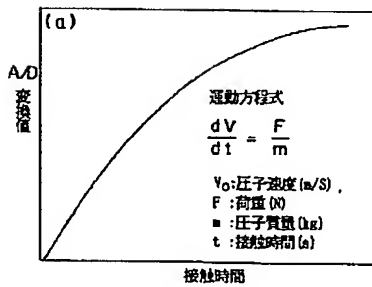
【図1】



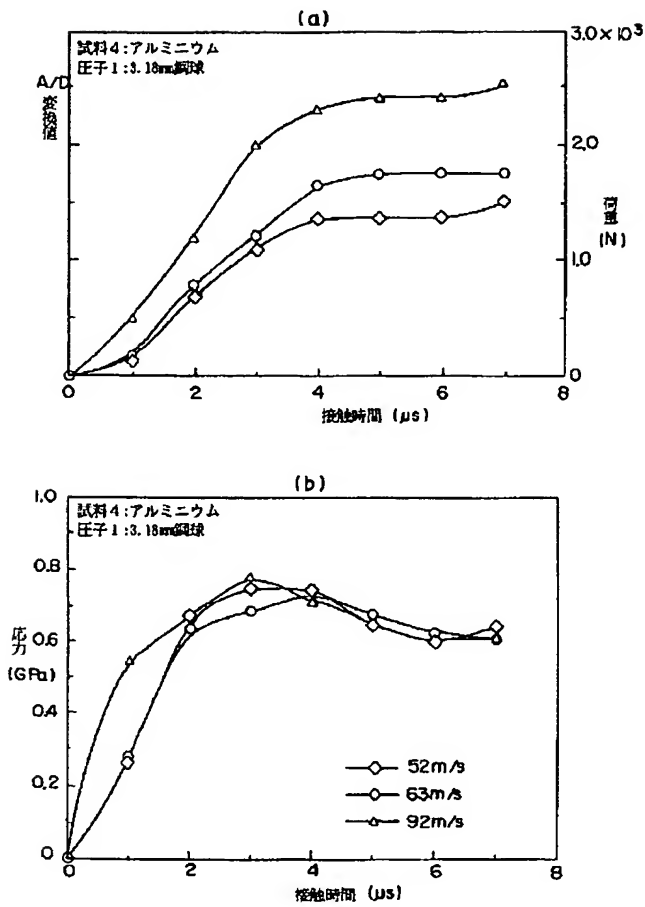
【図7】



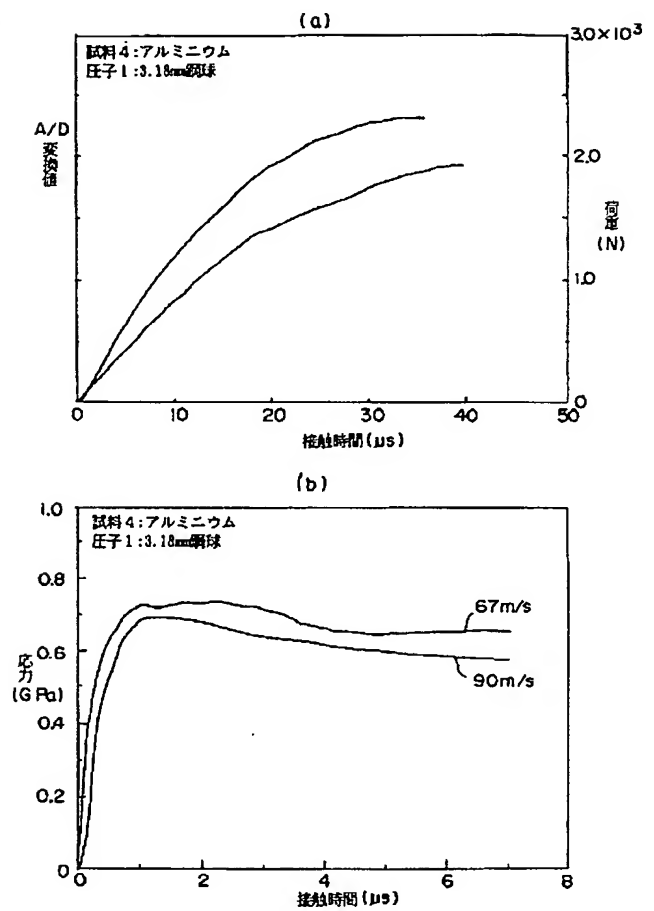
【図2】



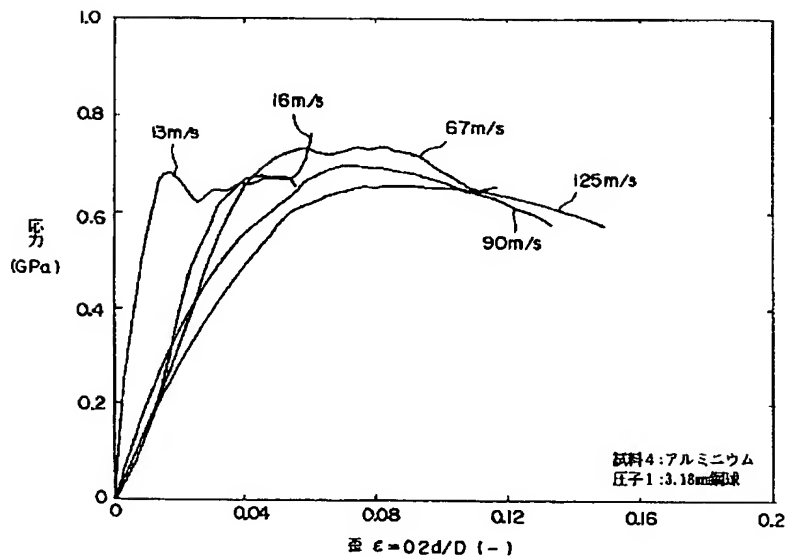
【図3】



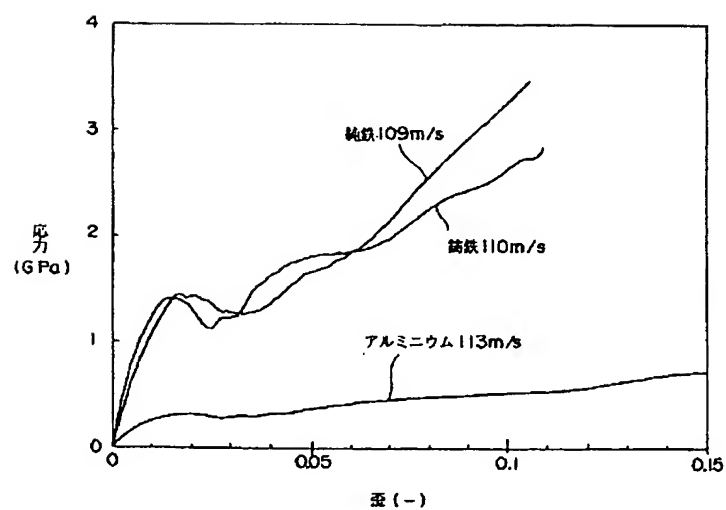
【図4】



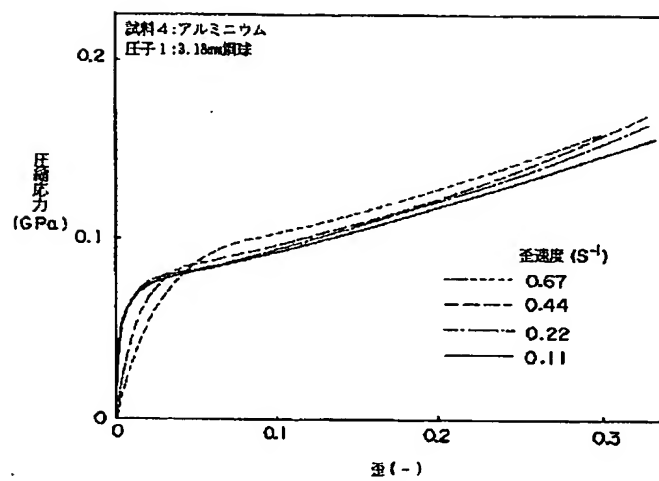
【図5】



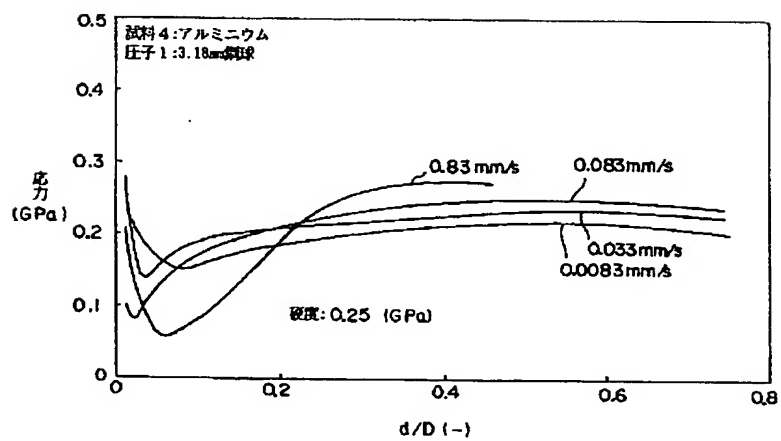
【図6】



【図9】

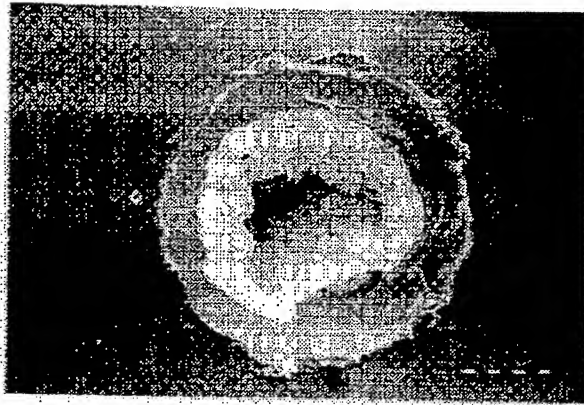


【図10】



【図8】

図8 破砕状態の試料  
(a)



写 真

(b)



写 真

【手続補正書】

【提出日】平成7年3月17日

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】図8

【補正方法】変更

【補正内容】

【図8】本発明の実施例の応力-歪挙動測定方法による試料のへこみ状態を示す写真である。